

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20150106>

УДК 621.791.037

Р 81

RESOURCE-SAVING METHOD OF ELECTRIC ARC SPRAYING

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Viacheslav O. Roianov

royanov@pstu.edu

ORCID: 0000-0002-0899-173X

Volodymyr I. Bobikov

voffka-008@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5129-8183

В. А. Роянов,

д-р техн. наук, проф.;¹

В. И. Бобиков,

асп., вед. инж.²¹Pryazovskyi State Technical University, Mariupol²PJSC «Azovobshchemash», Mariupol¹Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь²ПАО «Азовобшемаш», г. Мариуполь

Abstract. On the modern stage of development of resource-saving technologies the basic support is given to the economy of materials consumption without the change of the amount of their use. The special attention is given to the universal methods of renewal of details, and electric arc spraying which has a wide application did not become an exception. The review of the literary data shows that the applied electric arc spraying guns have a large expense of the compressed air. It results in the intensive affecting of the nebulizing stream on the liquid metal of the ends of molten electrodes and the degradation of the coverage quality. With the purpose of decrease in the compressed air consumption it is suggested to use a pulsating nebulizing stream. A corresponding device is worked out, to the stationary arc spraying gun EM-17, providing the pulsating mode of expiration of the nebulizing stream of air within the limits of 0–130 Hertz. The oscillograms of change of dynamic pressure are given. It is set that a nebulizing stream has a pulsating form with the temporal intervals. The dependence of properties of the pulsating nebulizing stream on the frequency of closure of the channel of nozzle of the arc spray gun is shown. The obtained results of research show the reduction of the consumption of nebulizing stream at spraying. The optimal frequencies which provide the least consumption of the compressed air are 40–60 Hertz, decrease at 42 %. The obtained data testifies the method of control of the nebulizing stream at spraying.

Keywords: resource saving; electric arc spraying; pulsating mode; nebulizing stream of air; channel of nozzle of the arc spray gun; stationary break; dynamic pressure of stream.

Аннотация. Представлены результаты исследования применения пульсирующей распыляющей струи сжатого воздуха при электродуговой металлизации. Показана зависимость свойств пульсирующей распыляющей струи сжатого воздуха от частоты перекрытия канала сопла металлизатора.

Ключевые слова: ресурсосбережение; электродуговая металлизация; пульсирующий режим; распыляющая струя сжатого воздуха; канал сопла металлизатора; стационарный разрыв; динамический напор струи.

Анотація. Наведено результати дослідження застосування пульсуючого розпилюючого струменя стисненого повітря при електродуговій металізації. Показано залежність властивостей пульсуючого розпилюючого струменя стисненого повітря від частоти перекриття каналу сопла металізатора.

Ключові слова: ресурсозбереження; електродугова металізація; пульсуючий режим; розпилюючий струмінь стисненого повітря; канал сопла металізатора; стаціонарний розрив; динамічний напір струменя.

REFERENCES

- [1] Roianov V.A., Mosienko V.P., Semenov V.P., Lavrenov V.Ya. *Raspylyayushaya metallizatsionnaya golovka* [Nebulizing arc spraying gun] Patent USSR, no. 990322, 1989.
- [2] Borisov Yu.S., Ilenko A.G., Astakhov E.A., Gaydarenko A.L. *Ustroystvo dlya elektrodugovoy metallizatsii* [Device for arc spraying] Patent USSR, no. 1329835, 1989.
- [3] Boronkov V.N., Korobov Yu.S. *Osnovy dugovoy metallizatsii. Fiziko-khimicheskie zakonomernosti* [Foundations of arc spraying. Physical and chemical characteristics]. Yekaterinburg, Uralskiy universitet Publ., 2012. 268 p.

- [4] Buryakin A.V. Statsionarnyy elektrodygovoy metallizator EM-19 [Station arc spray gun of AS – 19]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding Production*, 2000, no. 9, pp. 35–36.
- [5] Ginzburg A.P. *Aerogazodinamika* [Air gas dynamics]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1968. 230 p.
- [6] Borisov Yu.S., Vigilyanskaya N.V., Demyanov I.A., Grishchenko A.P., Murashov A.P. Issledovanie dispergirovaniya raznorodnykh materialov v protsele elektrodugovogo napyleniya [Investigation of dispersion of dissimilar wire materials during electric arc spraying]. *Avtomaticheskaya svarka – The Paton Welding Journal*, 2013, no. 2, pp. 25–31.
- [7] Katts N.V. *Metallizatsiya raspyleniem* [Arc spray by dispersion]. Moscow, Mashynostroenie Publ., 1966. 248 p.
- [8] Konstantinov V.M., Gubanov A.S. Vliyaniye legiruyushikh elementov stalnoy provoloki na svoystva pokrytiy pri dugovom napylenii [Influence of alloying elements of steel wire on properties of coverages at arc spraying]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding Production*, 2007, no.5, pp. 13–18.
- [9] Korobov Yu.S. Othenka sil deystvuyuchikh na raspylyaemyy material pri elektrometallizatsii [Estimation of forces, operating on the nebulized material during arc spray]. *Avtomaticheskaya svarka – The Paton Welding Journal*, 2004, no.5, pp. 23–27.
- [10] Royanov V.A. Plavlenie elektrodov pri dugovoy metallizatsii [Melting of electrodes at arc spraying]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding Production*, 1990, no.2, pp. 35–37.
- [11] Royanov V.A., Tsygankov A.S., Bogoslovskiy S.A. Poroshkovaya provoloka dlya naneseniya iznosostoykikh pokrytiy metodom dugovoy metalizatsii [Powder wire for warp roof coverage spraying by the method of arc spraying] *Sbornik trudov TsNIIT – MASH. – Collected Works of CSRI of MET*, 1990, pp. 25–26.
- [12] Ter-Danielyan B.I. Novaya raspylitelnaya golovka elektrodugovogo metallizatora [New nebulizing arc spraying gun]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding Production*, 1983, no.12, pp. 30–32.
- [13] Khasui A. *Tekhnika napyleniya* [Technique of arc spraying]. Moscow, Mashynostroenie Publ., 1975. 288 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Среди многочисленных прогрессивных технологий особое место занимают ресурсосберегающие процессы, позволяющие эффективно решать важные задачи по сокращению энергетических ресурсов и расхода материалов. В последнее время все большее применение находят методы восстановления деталей, которые обеспечивают значительную экономию материалов. Среди них электродуговое напыление, отличающееся высокой производительностью и экономической эффективностью, является наиболее простым, технологичным и перспективным способом.

Однако применяемые современные распыляющие головки для электродуговой металлизации, оснащенные прямоточным соплом, имеют высокий расход сжатого воздуха. В связи с этим совершенствование оборудования для электродуговой металлизации с целью экономии сжатого воздуха является актуальной задачей машиностроительной, судостроительной и других отраслей промышленности Украины.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Как известно, основным фактором в процессе напыления является воздействие распыляющей струи воздуха на жидкий металл расплавленных торцов электродов [9, 10]. Известные конструкции электродуговых металлизаторов характеризуются неизменным истечением распыляющей струи, т.е. постоянным. Такое истечение приводит к повышенному расходу сжатого воздуха (1,7...1,9 м³/мин). Кроме того,

коэффициент использования напыляемого материала, по литературным источникам, составляет 0,65...0,75. Особое внимание уделяется нанесению покрытий с использованием порошковых проволок, где скорости плавления наполнителя и оболочки отличаются ввиду их физико-химических особенностей [3, 4, 6–8, 11–13]. Поэтому приоритетной задачей является совершенствование одного из самых прогрессивных методов восстановления – электродуговой металлизации.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ – для совершенствования конструкции электродугового аппарата разработать соответствующее устройство с применением дополнительных элементов, позволяющее использовать пульсирующую распыляющую струю, сократить расход сжатого воздуха.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В работах [1, 2, 4, 12] предложены совершенствования конструкции электродугового металлизатора путем применения вставок и устройств для обеспечения пульсаций распыляющей струи воздуха. Однако они оказались неприемлемы в силу своей сложной конструкции и инерционности.

На кафедре оборудования и технологии сварочного производства ПГТУ (Приазовского государственного технического университета, г. Мариуполь) усовершенствован метод электродуговой металлизации за счет модернизации конструкции распыляющей головки путем установки пульсирующего пневматического устройства, которое обеспечивает пульсирующий

режим истечения распыляющей струи сжатого воздуха. Исследования проводили на стационарном электродуговом металлизаторе ЭМ-17 с устройством.

Конструктивно пульсирующее устройство (в дальнейшем пульсатор) представляет собой цилиндрический корпус с входным и выходным патрубком для подвода и отвода сжатого воздуха, внутри которого установлен вал с отверстием и возможностью вращения. Установлено устройство соосно с каналом

сопла металлизатора, перед распыляющим соплом. Вследствие вращения вала с отверстием происходит периодическое перекрытие подачи сжатого воздуха по каналу сопла металлизатора к распыляющему соплу, в результате чего образуется пульсирующий режим истечения. Пульсатор позволил получить пульсирующий режим истечения распыляющей струи в пределах 0...130 Гц.

Схема разработанной пульсирующей распыляющей головки представлена на рис. 1.

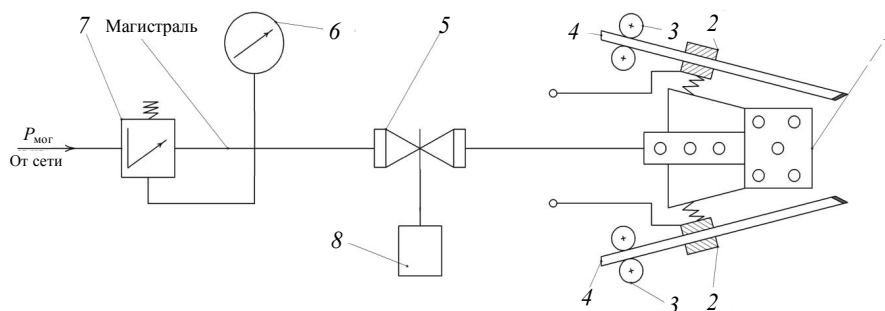


Рис. 1. Схема разработанной пульсирующей распыляющей головки: 1 – распыляющее сопло; 2 – токоподводы; 3 – ролики; 4 – электродный материал; 5 – пульсатор; 6 – манометр давления; 7 – редуктор давления; 8 – электродвигатель

При разработке устройства исследовались эффективность динамического напора струи и форма импульсов в зависимости от формы перекрытия канала сопла металлизатора. Экспериментальные замеры формы импульсов и динамического напора в зависимости от частоты осуществляли методом воздействия распыляющей струи на металлическую пластинку, на которой установили тензодатчик. Сигналы с тензодатчика регистрировали с помощью осциллографа.

Исследования проводили при давлении $P = 0,55$ МПа. Сопло диаметром $d = 7 \cdot 10^{-3}$ м. Расстояние до металлической пластины 120 мм.

На рис. 2 представлены осциллограммы изменения динамического напора струи и форма импульсов в зависимости от формы перекрытия канала сопла: *а, б* – при измерениях проходного сечения круглой формы; *в, г* – при измерениях проходного сечения прямоугольной формы.

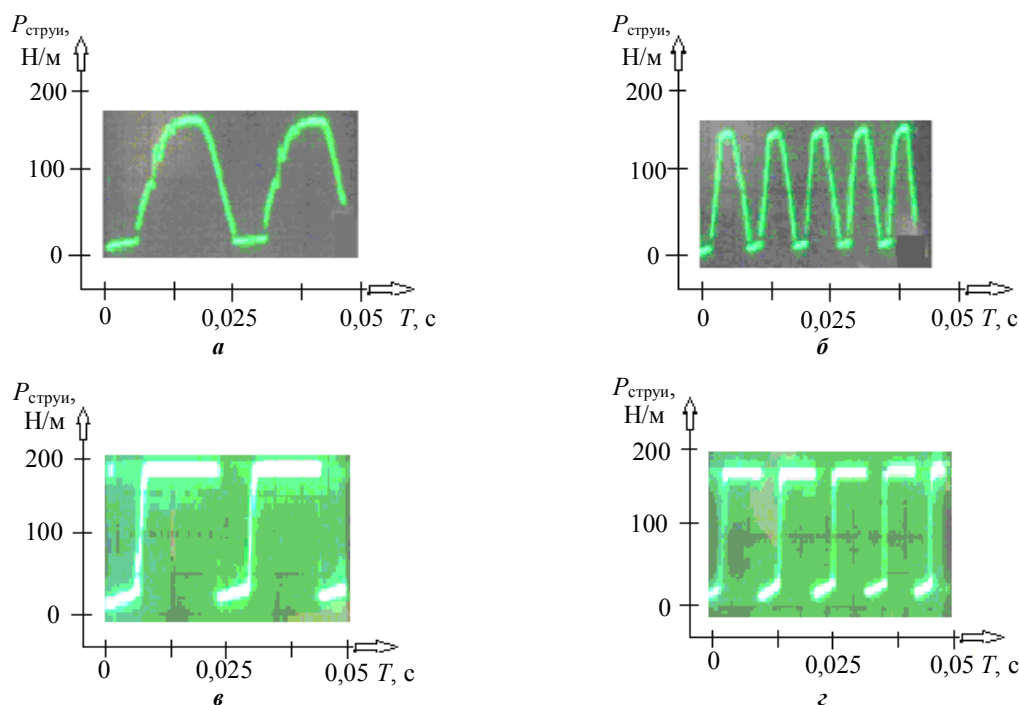


Рис. 2. Изменения динамического напора струи в зависимости от формы перекрытия канала сопла: *а* – при частоте пульсации сжатого воздуха 30 Гц; *б* – 65 Гц; *в* – 40 Гц; *г* – 75 Гц

Из приведенных осциллограмм видно, что распыляющая струя воздуха имеет пульсирующую форму с временными промежутками. Как показали исследования, применение различной формы перекрытия позволяет изменять и форму нарастания самого импульса. Так, при использовании круглого сечения импульс имеет плавнорастающую форму по сравнению с прямоугольной формой перекрытия. Использование последнего дало возможность получить более крутонарастающую форму импульса. Общим фактором применения круглой и прямоугольной форм пере-

крытия является наличие паузы в следовании распыляющей струи воздуха, необходимой для образования жидкого металла на торце электродов. В дальнейшем проводились исследования импульсов с прямоугольной формой перекрытия.

Исследование зависимости свойств пульсирующей распыляющей струи воздуха от частоты перекрытия проводили с помощью теневого метода. Результаты исследования структуры пульсирующей распыляющей струи сжатого воздуха представлены на рис. 3.

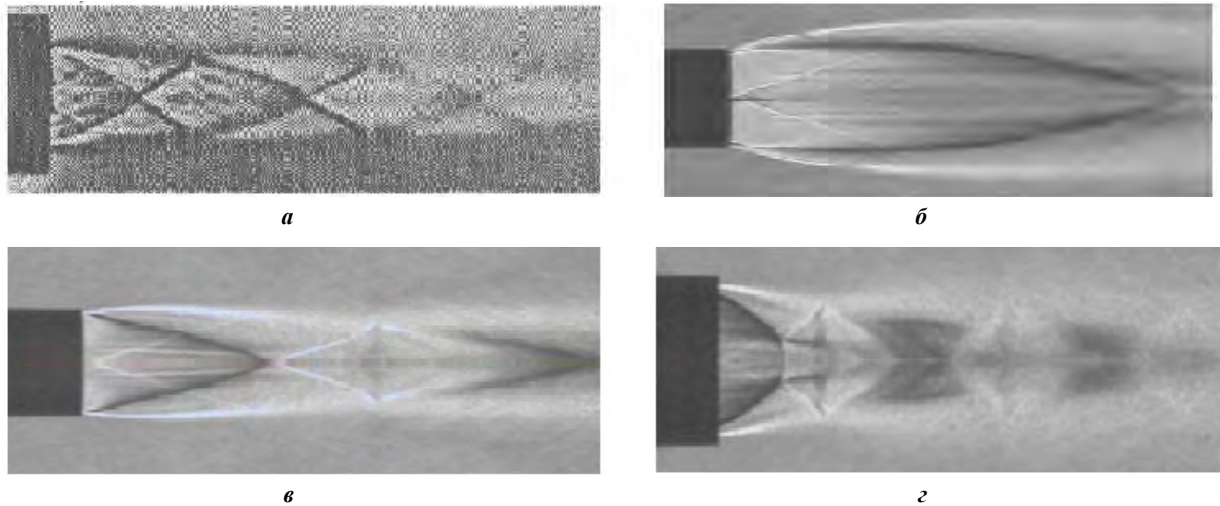


Рис. 3. Газоспектрограммы струй сжатого воздуха: *а* – без пульсирующего потока; *б* – при частоте пульсаций 25 Гц; *в* – 56 Гц; *г* – 85 Гц

Строение распыляющей струи без пульсаций (см. рис. 3, *а*) представляет собой нестационарное пространственно неоднородное газовое образование и соответствует [5]. Все области струи находятся в колебательном движении относительно геометрической оси сопла, из которого она истекает. Наблюдается бочкообразная волновая структура начального и переходящего участков с пилообразным распределением давления вдоль оси струи. У среза сопла возникает течение разрежения в виде центрированной волны.

Распыляющая струя с пульсацией воздушного потока (см. рис. 3, *б–г*) также представляет собой неоднородное газовое образование, однако имеются отличительные особенности.

Так, при частоте пульсаций 25 Гц (см. рис. 3, *б*) газовая струя при выходе из сопла образует центрированную конусообразную зону волны, ограниченную волнами разрежения. При частотах 56 и 85 Гц (см. рис. 3, *в, г*) все области струи находятся в колебательном движении. Наблюдается наличие волн разрежения, которые сопровождаются ударными волнами, бочкообразная волновая структура начального и переходящего участков с пилообразным распределением давления вдоль оси струи. Между волнами присут-

ствует участок стационарного разрыва в следовании газовой струи. При частоте 85 Гц заметно увеличение количества участков стационарного разрыва с перепадами давления.

В соответствии с газодинамическими расчетами, выполненными по [5], на рис. 4 представлен график расхода воздуха в зависимости от частоты, протекающего через сопло, во временном интервале 1 с.

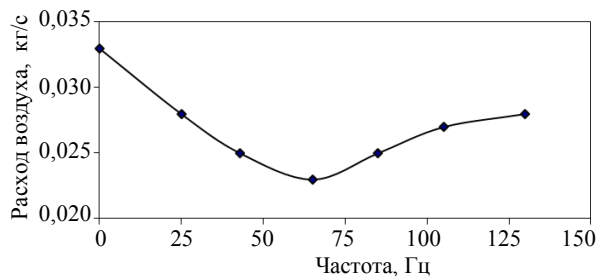


Рис. 4. График изменения расхода воздуха в зависимости от частоты

Из графика видно, что наименьший расход распыляющей струи воздуха лежит при использовании частот в пределах от 43 до 85 Гц, минимальное значение составляет 0,023 кг/с (1,06 м³/мин). При малых частотах (25...30 Гц) временной интервал перехода

от закрытого состояния к открытому изменяется с наименьшей скоростью, поэтому расчетный расход составляет 0,0285 кг/с (1,34 м³/мин). При больших частотах (100...130 Гц) скорость перекрытия сопла быстро изменяется, поэтому истечение струи стремится к постоянному значению, т. е. приближается к значениям, как и без пульсации, 0,027 кг/с (1,32 м³/мин).

Результаты исследования влияния пульсирующей распыляющей струи на структуру покрытий представлены на рис. 5. Использовали порошковую проволоку ПП-ММ-2 [11]. Напыление проводили с помощью металлизатора ЭМ-17 с разработанным пневматическим устройством пульсации при давлении $P = 0,55$ МПа, токе $I = 210...230$ А, напряжении $U = 30...32$ В, скорости подачи проволоки $v = 4,8...5,4$ м/мин. Сопло диаметром $d = 7 \cdot 10^{-3}$ м², расстояние до напыляемого образца 120 мм. Питание дуги осуществлялось от источника тока ВДУ-506.

При отсутствии пульсаций распыляющей струи микроструктура неоднородна, с большим количеством частиц различной формы (см. рис. 5,а). Отмечено наличие оксидных пленок. При использовании пульсирующего истечения распыляющей струи покрытия (см. рис. 5,б-г) имеют более равномерную микроструктуру. Количество частиц с различным размером уменьшается. Переходная зона имеет оксидные пленки, но в меньшей степени по сравнению со структурой покрытия, выполненного при отсутствии пульсирующей распыляющей струи.

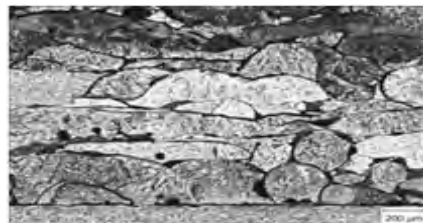
Разработан опытный образец пульсирующей распыляющей головки, смонтированной на токарном станке для восстановления посадочных мест деталей металлургического оборудования в механическом цехе комбината «Азовобщешмаш».

ВЫВОДЫ

1. Разработано устройство, позволяющее получить пульсирующий режим распыляющей струи с импульсами прямоугольной формы в диапазоне частот 0...132 Гц.
2. Пульсирующее устройство (пульсатор) позволило:



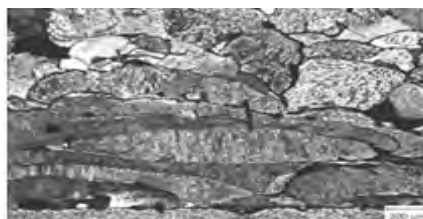
а



б



в



г

Рис. 5. Микроструктура покрытий в зависимости от частоты пульсаций сжатого воздуха: а – без пульсаций; б, в, г – пульсации 25, 43, 65 Гц

получить пульсирующую воздушную струю с наличием временных промежутков в течении, участками стационарного разрыва;

снизить расход воздуха по сравнению с характеристиками других металлизаторов со значений 1,9 до 1,34 м³/мин (снижение на 42 %).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А. с. 1787049 СССР, МКИ В 05 В 7/22. Распыляющая металлизационная головка [Текст] / В. А. Роянов, Г. А. Мосиенко, В. П. Семенов, В. Я. Лавренов. – № 990322 ; заявл. 22.11.89 ; опубл. 07.01.93, Бюл. № 1.
- [2] А. с. 1727923 СССР, МКИ В 05 В 7/22. Устройство для электродуговой металлзации [Текст] / Ю. С. Борисов, А. Г. Ильенко, Е. А. Астахов, А. Л. Гайдаренко. – № 1329835 ; заявл. 26.06.89 ; опубл. 23.04.92, Бюл. № 15.
- [3] **Бороненков, В. Н.** Основы дуговой металлзации. Физико-химические закономерности [Текст] / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2012. – 268 с.
- [4] **Бурякин, А. В.** Стационарный электродуговой металлзатор ЭМ-19 [Текст] / А. В. Бурякин // Сварочное производство. – 2000. – № 9. – С. 35–36.

- [5] **Гинзбург, А. П.** Аэрогазодинамика [Текст] / А. П. Гинзбург. – М. : Высшая школа, 1968. – 230 с.
- [6] Исследование диспергирования разнородных проволоочных материалов в процессе электродугового напыления [Текст] / Ю. С. Борисов, Н. В. Вигилянская, И. А. Демьянов, А. П. Грищенко, А. П. Мушаров // Автоматическая сварка. – 2013. – № 2. – С. 25–31.
- [7] **Катц, Н. В.** Металлизация распылением [Текст] / Н. В. Катц. – М. : Машиностроение, 1966. – 248 с.
- [8] **Константинов, В. М.** Влияние легирующих элементов стальной проволоки на структуру и свойства покрытий при электродуговом напылении [Текст] / В. М. Константинов, А. С. Губанов // Сварочное производство. – 2007. – № 5. – С. 13–18.
- [9] **Коробов, Ю. С.** Оценка сил, действующих на распыляемый материал при электрометаллизации [Текст] / Ю. С. Коробов // Автоматическая сварка. – 2004. – № 7. – С. 23–27.
- [10] **Роянов, В. А.** Плавление электродов при дуговой металлизации [Текст] / В. А. Роянов // Сварочное производство. – 1990. – № 2. – С. 35–37.
- [11] **Роянов, В. А.** Порошковая проволока для нанесения износостойких покрытий методом дуговой металлизации [Текст] / В. А. Роянов, С. А. Цыганков, А. С. Богословский // Сб. трудов ЦНИИТМАШ. – 1990. – С. 25–26.
- [12] **Тер-Даниэльян, Б. И.** Новая распылительная головка электродугового металлатора [Текст] / Б. И. Тер-Даниэльян, Л. В. Красниченко // Сварочное производство. – 1983. – № 12. – С. 30–32.
- [13] **Хасуи, А.** Техника напыления [Текст] : [пер. с япон.] / А. Хасуи. – М. : Машиностроение, 1975. – 288 с.

© В. О. Роянов, В. І. Бобіков

Надійшла до редколегії 10.11.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. *О. М. Дубовий*